

**Н. В. ДУДЕНКО**, д-р мед.наук, проф., зав. каф., ХДУХТ, Харків;

**В. С. ОЛЬХОВСЬКА**, канд. техн. наук, доц., ХДУХТ, Харків

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОВОЧЕВИХ КОНСЕРВІВ ІЗ ЗАДАНИМИ СПОЖИВНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

Визначено та експериментально підтверджено методом математичного моделювання раціональний склад рецептурних компонентів овочевої ікри.

**Ключові слова:** математичне моделювання, рецептурні компоненти, харчова цінність, показники якості.

**Вступ.** Вдосконалення якості харчових продуктів є на сьогодні актуальною проблемою. В умовах насичення ринку харчовими продуктами та зростання конкурентної боротьби, виробник матиме успіх лише коли його продукт буде відповідати постійно зростаючим вимогам споживачів щодо якості, безпечності та асортименту.

Вивчення наукових розробок у галузі функціональних продуктів харчування переконує в необхідності створення харчових продуктів з заданим складом та збалансованим вмістом інгредієнтів.

Овочі є життєво необхідними продуктами харчування. Вони посилюють виділення шлункового соку і поліпшують процес травлення, підтримують кислотно-лужну рівновагу і рідинний обмін в організмі.

Виробництво консервів має значення для населення і народного господарства нашої країни. Консервовані харчові продукти дозволяють значною мірою зменшити витрати праці та часу на приготування їжі в домашніх умовах, урізноманітнити меню, забезпечити цілорічне харчування населення, і навіть створювати поточні, сезонні і страхові запаси. Плодоовочеві консерви, багаті вітамінами й мінеральними речовинами, необхідні для харчування населення країни. Для плодоовочевої продукції, як і для інших харчових продуктів, надзвичайно велике значення має питання безпечності.

Таким чином, створення продукту природного походження, який здійснював би регулюючу дію на організм в цілому і на його певні системи та органи, та впровадження в його виробництво системи, яка б гарантувала безпечність продукції є актуальною проблемою сьогодення.

Кабачкова ікра є справжнім джерелом дуже важливих для організму поживних речовин: макро- та мікроелементів, пектинових речовин, природних антиоксидантів. Калорійність кабачка наближена до нуля.

**Мета роботи.** Метою роботи було розробка овочевої ікри із кабачків підвищеної харчової цінності, до рецептури якої було введено нетрадиційну сировину - пюре з шипшини, пряно-ароматичну сировину – імбир та рапсову олію.

**Методика експериментів.** При виконанні роботи дотримано три методологічні підходи, які підкорюють єдиній меті різноманітні сучасні методи досліджень (рис.). Цей підхід застосовувався для вдосконалення методів чисельної оцінки показників харчової цінності продуктів і композицій, а також для обґрунтування запропонованих алгоритмів проектування багатокомпонентних рецептур й, багато в чому визначивши загальну спрямованість власних наукових пошуків, виступив відправною точкою для проведення наступних досліджень, пов'язаних з використанням двох типів експериментальних підходів: ЕОМ-ного й натурного експерименту.

Натурний експеримент застосовувався для вивчення хімічного складу й комплексу властивостей модельних рецептур. За допомогою натурного експерименту вивчався вплив сукупності технологічних або суб'єктивних факторів на якісні характеристики проміжних й остаточних етапів створення модельних композицій.

Узагальнення відомостей, що стосуються сучасних принципів проектування складу багатокомпонентних рецептур із заданим комплексом показників харчової й біологічної цінності, дозволяє зробити висновок про доцільність подальших досліджень, що мають за мету удосконалювання методів оцінки харчової цінності продуктів.

Існує ряд умов, перша з яких припускає, що механічна обробка сировини, пов'язана з доданням компонента необхідної дисперсності або структурно-механічних властивостей, не порушує принципу суперпозиції відносно біологічно активних речовин вихідних продуктів.

Друге допущення пов'язане з розглядом їжі (одиничних продуктів харчування, або складеної з них композиції) тільки як сукупності незалежних екзогенних потоків біологічно активних речовин, виключаючи із наступних логічних побудов уявлень про неї як про їхнього попередника.

Наступна умова стосується способів оцінки якості основних потоків харчових речовин і має на увазі, що оцінюваний комплекс кожна складова проектного продукту) складається з того ж набору есенціальних нутрієнтів, що й обраний стандарт. Слід попутно обговорити й ту обставину, що екзогенні нутрієнти перебувають у продукті як самостійні речовини.

Ключовим чинником, який у вирішальному ступені визначає відповідність харчових систем їх очікуваним властивостям, є спосіб обґрунтування їхнього рецептурного складу.

Можливість підвищення харчової і біологічної цінності продуктів харчування і раціонів характеризується множинністю шляхів просування до заданої цілі. Загальним методологічним прийомом до цього випадку є цільове комбінування рецептурних інгредієнтів, що забезпечує одержання харчових композицій із комплексом бажаних позитивних властивостей.

**Обговорення результатів.** Методом математичного моделювання визначені та експериментально підтверджені раціональні склади рецептурних компонентів «Ікри з кабачків «Вітамінної». [1-3]

Мається набір харчових інгредієнтів, що є основою для складання «Ікри з кабачків «Вітамінної». Кожен харчовий інгредієнт має відомий вміст вуглеводів, мінеральних речовин, вітамінів і води. (табл. 1).

Державний стандарт вимагає, щоб у кабачковій ікри п'яту частину від загальної маси становили сухі речовини. [4, 5]

Необхідно підібрати композицію інгредієнтів для одержання ікри з необхідними (табл. 3) органолептичними показниками (колір, смак, консистенція, запах), максимально збалансовану за вмістом харчових речовин (тобто вміст нутрієнтів повинний наближатися до норми – табл. 2. При цьому сума мас інгредієнтів повинна відповідати необхідній масі готового продукту, тобто складати 100 грам для даної задачі.

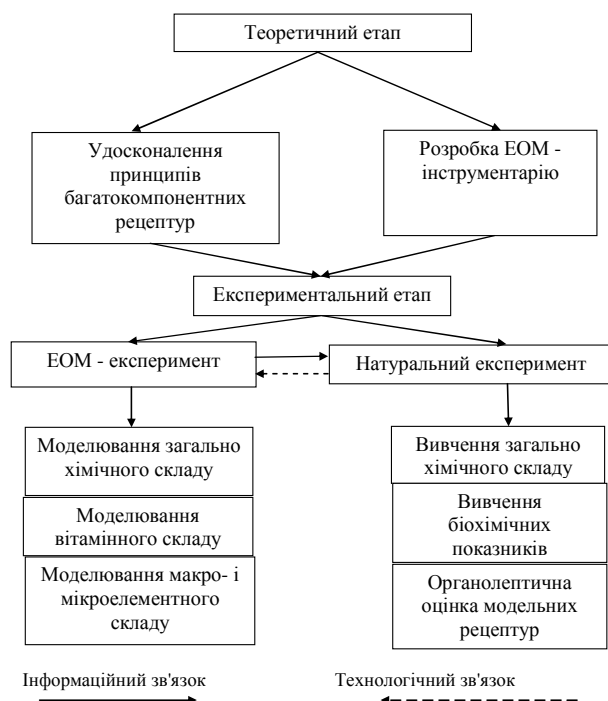


Рис. - Схема проведення досліджень

Таблиця 1 - Необхідні значення органолептичних показників ікри з кабачків  
«Вітамінної»

Органолептичний показник	Характеристика консервів
Зовнішній вигляд і консистенція	Однорідна, рівномірно подрібнена, без грубого насіння переспілих овочів, грубих включень плохоніжок і без помітного відокремлення рідини. Консистенція така, що мається, чи злегка зерниста.
Смак і запах	Приємний. Пряний, кисло-солодкий з присмаком плодів шипшини
Колір	Однорідний за всією масою. Від жовтого до ясно-коричневого

Оптимізація полягає у пошуку екстремуму одного показника чи якості їхньої сукупності. Під екстремумом необхідно розуміти максимальне чи мінімальне значення цільової функції.

Математична модель задачі оптимізації в загальному виразі являє собою три основних елементи: цільова функція, обмеження і граничні умови.

У даній задачі в якості перемінної моделі виступають маси важливих компонентів, які суттєво впливають на фізико-хімічні та органолептичні характеристики ікри з кабачків підвищеної харчової цінності:  $X_1$  - кабачки,  $X_2$  – органічні кислоти,  $X_3$  - морква,  $X_4$  - пюре з шипшини,  $X_5$  – цукор,  $X_6$  - томатна паста,  $X_7$  – сіль.

Таблиця 2 - Вміст харчових речовин у рецептурних компонентах ікри з кабачків  
підвищеної харчової цінності

Харчові речовини	Рецептурні компоненти					Норма, що рекомендується, на 1000 ккал, мг
	Кабачки в 100 г	Шипшина в 100 г	Томатна паста в 100 г	Сіль в 100 г	Цукор в 100 г	
Вода, %	94,6	91	85	3,0	0,14	
Баластні р-ни, %	1,0	1,9	1,8	–	–	3,4
В-каротин	1,2	2	0,01	–	–	1,8
$B_1$	0,06	0,10	0,08	–	–	0,7
$B_2$	0,04	0,08	0,10	–	–	0,8
РР	0,53	1,00	1,00	–	–	6
С	25	250	35	–	–	20
Na	15	19	–	37417	1	1785
Ca	8	8	86	485	2	321
Fe	0,5	–	1,8	10	0,3	5,3
Mg	–	11	41	94	–	142,5
P	35	16	82	–	–	446
K	243	163	262	15	3	1338,5
Енергетична цінність, ккал/100 г	79	27	197	0	374	

Граничними умовами є вимоги за органолептичними показниками, що залежать від вмісту в суміші тільки одного інгредієнта.

Обмеженнями виступають вимоги за органолептичними показниками, на які впливають кілька інгредієнтів комплексно (консистенція визначається вмістом сухих речовин, що містяться у всіх інгредієнтах), а також обмеження на загальну масу суміші, табл. 3.

Таблиця 3 - Шкала оцінок за органолептичними показниками ікри з кабачків підвищеної харчової цінності

Органолептичний показник	Інгредієнт, що впливає на значення показника	Вміст інгредієнта в соусі, %	Значення органолептичного показника
Колір	Кабачки (обсмажені)	55-60	блід-зелений
		65-70	Жовто-зелений
		75-80	Світло-коричневий
	Пюре з плодів шипшини	5-10	Світло-червоний
		15-20	Червоний
		25-30	бурий
	Томатна паста	5-6	Світло-червоний
		7-8	Червоний
		9-10	яскраво-червоний
Смак	Сіль	0,5-1	Не солоний
		1,5-2	Слабко солоний
		2,5-3	Приємно солоний
		Більш 3	Солоний
	Цукор	0,6-0,65	Не солодкий
		0,7-0,75	Слабко солодкий
		0,8-0,85	Солодкий
		Більш 1	Дуже солодкий
	Імбир	0-0,1	Не гострий
		0,1-0,2	Слабко гострий
		0,2-0,5	Гострий пряний
		Більш 0,5	Дуже гострий пряний
	Органічні кислоти (9% оцет)	0-0,5	Не кислий
		0,5-1	Слабо-кислий
		1-1,5	Кислий
		1,5-2,5	Дуже кислий
Консистенція	Сухі речовини	5-10	Рідка
		10-20	Пюреподібна
		20-29	Пастоподібна
		29-39	Густа
Запах	Пряно-ароматичної сировини	0-0,1	Не виражений
		0,1-0,2	Приємний запах прянощів
		0,2-0,5	Різкий
		Більш 0,5	Дуже різкий

- $65 \leq X^1 \leq 70$  (колір по кабачків)
- $15 \leq X^2 \leq 20$  (колір по вмісту пюре з шипшини)
- $7 \leq X^3 \leq 8$  (колір по вмісту томатної паста)
- $0,1 \leq X^4 \leq 0,2$  (смак по вмісту солі)
- $0,7 \leq X^5 \leq 0,75$  (смак по вмісту цукру)
- $0,1 \leq X^6 \leq 0,2$  (смак по вмісту пряно-ароматичної сировини)
- $1 \leq X^7 \leq 1,5$  (смак по вмісту органічних кислот)
- $0,1 \leq X^8 \leq 0,2$  (запах по вмісту пряно-ароматичної сировини)
- $20 \leq 5,4X^1 + 9X^2 + 15X^3 + 97X^4 + 99,86X^5 \leq 29$  (консистенція по вмісту сухих речовин)
- $X^1 + X^2 + X^3 + X^4 + X^5 + X^6 + X^7$  (загальна маса суміші)

Побудова цільової функції. Мета даної задачі – прагнення досягти балансу визначених харчових речовин суміші, а саме клітковини, вітамінів  $B_1$ ,  $B_2$ , РР, С та  $\beta$ -каротину, Na, Ca, K, Mg, Fe, P. У даному випадку необхідно використовувати векторну (чи багатокритеріальну) оптимізацію, тобто знайти оптимальне рішення за декількома показниками (це означає, що необхідно досягти балансу вмісту кожної харчової речовини щодо всіх харчових речовин). Векторна оптимізація являє собою спробу знайти деякий компроміс між тими параметрами, за якими потрібно оптимізувати рішення [6].

Оскільки важливе не абсолютне значення того чи іншого показника якості харчової цінності, а їхнє співвідношення в суміші, то перед порівнянням проектованої рецептури й еталону відповідні показники нормуються. Таким чином, нормований показник фактичного вмісту  $j$ -ї харчової речовини в суміші щодо вмісту в ній усіх харчових речовин:

$$B_j = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i}{\sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i} \quad (1)$$

де  $a_{ij}$  – значення  $j$ -го показника в  $i$ -м компоненті. Нормований показник еталонного вмісту  $j$ -ї харчової речовини в 100 г продукту щодо еталонного вмісту всіх харчових речовин у 100 г продукту:

$$E_j = \frac{l_i}{\sum_{j=1}^l l_j} \quad (2)$$

де  $l_j$  – еталонне значення  $j$ -го показника.

Математична постановка задачі оптимізації харчових сумішей, таким чином, має вид:

$$\left. \begin{aligned} F &= \sum_{j=1}^m \left( \frac{B_j - E_j}{E_j} \right)^2 \rightarrow \max \\ \left( \sum_{j=1}^n x_j \right) - 100 &= 0 \\ a &\leq \sum_{j=1}^n \left( \frac{100 - w_j}{100} x_j \right) \leq b \\ x_j^{\min} &\leq x_j \leq x_j^{\max} \\ j &= \overline{1, n} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\text{де } B_j = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ij} x_j}, E_j = \frac{l_j}{\sum_{j=1}^m l_j}, j = \overline{1, m} \quad (4)$$

де  $w_i$  – процентний вміст води в  $i$ -му інгредієнті;

$a, b$  – межі вмісту сухих речовин у суміші (вимоги до консистенції);

$x_j^{\min}, x_j^{\max}$  – межі зміни мас інгредієнтів (вимоги до смаку і кольору);

$l_j$  – еталонний вміст  $j$ -ї харчової речовини на 1000 ккал суміші;

$a_{ij}$  – вміст  $j$ -ї харчової речовини в  $i$ -му інгредієнті;

$n$  – кількість інгредієнтів суміші;

$m$  – кількість розглянутих харчових речовин.

У такій постановці маємо задачу умовної (тому що присутні обмеження) нелінійної (тому що функція нелінійна) оптимізації з нелінійною цільовою функцією і лінійними обмеженнями і граничними умовами.

Були складені часткові фактичні цілі за визначеними критеріями відповідно до табл. 1 та 2.

Оскільки нормативні значення задачі з розрахунку на 1000 ккал, для складання загальної мети необхідно перерахувати норму з розрахунку на фактичне число ккал.

Для ікри з кабачків підвищеної харчової цінності число ккал дорівнює:

Число ккал дорівнює:

$$0,079X^1 + 0,027X^2 + 0,197X^3 + 0,374X^5 \quad (5)$$

Позначемо відношення для ікри з кабачків:

$$V_1 = (0,079X^1 + 0,027X^2 + 0,197X^3 + 0,374X^5) / 1000 \quad (6)$$

Тоді:

для консервів  $Z_{\text{ідеал.}} = V^i K^i$ , де  $K^i$  - нормативне значення I-го критерію.

Таким чином, загальна цільова функція приймає такий вид:

$$\begin{aligned} Z_{\text{общ}} = & (0,0004X^1 + 0,0004X^2 + 0,013X^3 V^1 \times 3,4)^2 + (0,0012X^1 + 0,002X^2 + \\ & + 0,00001X^3 V^1 \times 0,0018)^2 + (0,00006X^1 + 0,0001X^2 + 0,00008X^3 - V^1 \times 0,0007)^2 + \\ & (0,00004X^1 + 0,00008X^2 + 0,0001X^3 - V^1 \times 0,0008)^2 + (0,00053X^1 + 0,001X^2 + 0,001X^3 - \\ & V^1 \times 0,006)^2 + (0,025X^1 + 0,25X^2 + 0,035X^3 - V^1 \times 0,02)^2 + (0,243X^1 + \\ & 0,163X^2 + 0,262X^3 + 0,015X^4 + 0,003X^5 - V^1 \times 1,3385)^2 + (0,008X^1 + 0,008X^2 + \\ & 0,086X^3 + 0,485X^4 + 0,002X^5 - V^1 \times 0,321)^2 + (0,015X^1 + 0,019X^2 + 37,417X^4 + 0,001X^5 - \\ & V^1 \times 1,785)^2 + (0,0005X^1 + 0,0018X^3 + 0,01X^4 + 0,0003X^5 - V^1 \times 0,0053)^2 + (0,01X^2 + \\ & 0,041X^3 + 0,094X^4 - V^1 \times 0,1425)^2 + (0,035X^1 + 0,016X^2 + 0,082X^3 - V^1 \times 0,446)^2 \end{aligned} \quad (7)$$

де  $V^1 = (0,079X^1 + 0,027X^2 + 0,197X^3 + 0,374X^5) / 1000$

Звичайно наближене рішення задачі нелінійного програмування шукають за допомогою релаксаційного процесу. Релаксаційний процес-це процес побудови послідовних наближень  $M_1, M_2, M_k$ , таких, що  $M_k \in \Omega(k=1,2,... \text{if}(M_{k+1} > f(M_k))$ . При цьому релаксаційний процес називається таким, що сходиться, якщо  $\lim_{k \rightarrow \infty} f(M_k) = f(M_0)$ .

**Висновки.** Вибір методу рішення отриманих математичних рівнянь роблять у залежності від задачі і рівня дослідження, від типу нелінійності. При рішенні даної задачі був обраний метод Ньютона, у якому використовуються другі похідні, що вимагає великих обчислень на кожній ітерації, але оптимальне рішення знаходиться за менше число ітерацій, ніж у градієнтних методах, у яких використовуються перші похідні. [6]

У результаті представлених розрахунків по математичній моделі оптимізації складу консервів «Ікра з кабачків «Вітамінна» і комплексу проведених досліджень були встановлені концентрації рецептурних компонентів: кабачки обсмажені – 65...70%; цибуля обсмажена – 2,5... 5%; пюре із шипшини – 10...15%; олія рапсова - 2...4%; морква - 4..6%; імбир – 0,1...0,2%; цукор – 0,7...0,75%; сіль – 1...2%; томатна паста – 7...8%. Також було розроблено технічні умови та технологічну інструкцію з виробництва нового продукту.

**Список літератури:** 1. Эрл М. Разработка пищевых продуктов [Текст] / Эрл Р, Андерсон А. Перевод с англ. В. Ашкинази, Т. Фурманской. – СПб: Профессия, 2004. – 384 с. 2. Азгальдов Г. Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии) [Текст] / Г. Г. Азгальдов. – М. : Экономика, 1982. – 256 с. 3. Азгальдов Г. Г. Количественная оценка качества продукции – квалиметрия [Текст] / Г. Г. Азгальдов. – М. : Экономика, 1986. – 136 с. 4. Топольник В. Г. Оценка качества продукции [Текст] / В. Г. Топольник, А. С. Ратушный. – М. : Русская кулинария, 1991. – 181

с. 5. *Феропатнов А. П.* Новый подход к оценке качества продукции [Текст] / А. П. Феропатнов // Стандарты и качество. – 1993. – №10. – С. 55–57. 6. *Липатов Н. Н.* Методологические подходы к проектированию рецептур многокомпонентных пищевых продуктов III поколения [Текст] / Н. Н. Липатов // Разработка процессов получения комбинированных продуктов питания : Всес. науч.-техн. конф. : тез. докл. – М., 1988. – С. 10–11.

Надійшла до редколегії 20.03.2013

#### УДК 635.64:661665.2

**Математичне моделювання овочевих консервів із заданими споживними властивостями/ Дуденко Н.В., Ольховська В. С** // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 1 (977). – С. 116-122. – Бібліогр.: 6 назв.

Определено и экспериментально подтверждено методом математического моделирования рациональный состав рецептурных компонентов овощной икры.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, рецептурные компоненты, пищевая ценность, показатели качества.

Determined and experimentally confirmed by mathematical modeling rational composition of prescription components vegetable caviar.

**Keywords:** mathematical modeling, recipe ingredients, nutritional value, performance kachetva.

#### УДК 544.723

**В. В. ШАВКУН**, аспирант, ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь;

**А. Е. КАПУСТИН**, д-р хим. наук, проф., зав. каф., ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь;

**Э. О. БУТЕНКО**, канд. техн. наук, н. с., ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь

### ОЧИСТКА ОТСТОЙНИКА ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ОТ ФЕНОЛОВ

Статья посвящена исследованию процессов удаления фенолов из отстойника, расположенного на полигоне твердых бытовых отходов города Мариуполя. Изучены кинетические закономерности процесса нейтрализации фенолов отстойника. Показана зависимость скорости процесса от основности нейтрализующего компонента, фракционного состава твердой фазы, содержания нейтрального твердого компонента.

**Ключевые слова:** отстойник, полигон твердых бытовых отходов, нейтрализация, очистка

**Введение.** Исследуемый отстойник расположен на территории полигона твердых бытовых отходов г. Мариуполя, между существующей свалкой и строящимся полигоном (рис. 1). Отстойник оказывает негативное воздействие на грунтовые и поверхностные воды, поскольку расположен на левом берегу р. Кальмиус, в 6700 м от ее впадения в Азовское море [1].

Предварительный химический анализ воды [2] отстойника показал, что наибольшие превышения ПДК наблюдаются для фенолов (в 41 раз – для жидкой фазы отстойника и 684 раза – для воды пробуренных непосредственно возле отстойника скважин). Кроме фенолов обнаружены превышения ПДК содержания железа (в 3346,3 раза – в жидкой фазе отстойника и в 4934,3 раза – в воде скважин).

В связи с полученными данными, необходимой является нейтрализация загрязнителей осаждением неорганических компонентов и адсорбцией органики. Главной технологической задачей является проведение процесса дезактивации фенолов с использованием доступных, недорогих и нетоксичных компонентов.



Рис. 1 - Расположение отстойника на полигоне твердых бытовых отходов